

# 海埔新生地的大地工程問題之探討 — 以六輕基地為例 — (上篇)

陳斗生、俞清瀚  
富國技術工程股份有限公司

葉嘉鎮  
台塑關係企業

## 摘 要

在海埔新生地大規模興建廠區設備，大地工程方面之問題需注重工址調查及其正確性，選擇經濟而適用之土質改良工法以防止液化並提高其強度，一般而言引起沉陷之各種因素，包括回填土重、建物重量及淺、深層抽水等。六輕基地及其附近地區目前所獲之地工資料尤其以動力壓密工法首次大規模使用於台灣，其經驗頗為珍貴。經改良後之土層，在其中打設樁基礎之行爲也與在一般自然沖積土中不同，本文對此等基樁之分析與施工及動力壓密工法之結果特加以分析及報導，期與地工界分享寶貴的經驗。

**關鍵字：**海埔新生地、工址調查與試驗、抽砂回填、動力壓密、地層沉陷、樁基礎。

## GEOTECHNICAL ENGINEERING PROBLEMS OF COASTAL RECLAIMED LAND-MAILIAO CASE STUDY

CHEN, DUNSTAN D.S. YU, CHING-HAN YEH, CHIA-TZEN

Sino Geotechnology, Inc.

Formosa Plastics

## ABSTRACT

For the planning, design and construction of large plants on a reclaimed land in west coast of Taiwan, the geotechnical engineering experiences on site investigation, liquefaction analysis for various fine contents, soil improvement by dynamic consolidation, consideration of settlements due to dredge fill, facility load distribution, shallow and deep well pumping, unusual behavior of pile foundation together with its analysis and construction are presented in this paper.

**KEY WORDS :** reclaimed land, site investigation and testing, hydraulic dredge fill, dynamic consolidation, area settlement, pile foundation.

# 地工技術

## 一、前言

地狹人稠的濱海地區與海謀地是很自然的發展趨向。海埔新生地是一種人類與自然競爭的工程活動，其所須付出的事前準備動作必須十分完備，才能降低對自然界的衝擊並提升人類的生活品質。

台灣地區目前規劃中之海埔新生地規模龐大，工程上所須考量的因素極為廣泛而複雜，諸如氣象、海象、水文等皆須要長期觀測。同時，為了使海埔新生地工程能夠成功，除了須要周邊之交通、水、電等之充分配合外，對地質、土壤、地下水文之調查及工程分析、設計、施工以及品質管控與經營、管理等技術也需有完整的規劃與準備。本文以六輕初期之經驗為例，探討填海造地工程與大地工程相關的技術性問題與對策，以供主事者與參與者之參考。

## 二、彰濱、雲嘉地區海埔新生地的地質、水文及土層概況

### 2.1 地質概況

彰濱及雲嘉沿海地區近地表之地層(約 350m ~ 400m)主要為全新世(約十萬年)以來未固結的礫石、砂土、粉土及黏土等沉積物所覆蓋，根據中油公司之鑽探及井測資料顯示，此未固結沉積物相當深厚，推測其下限可能是上新世(1.8 ~ 5 百萬年)沉積物及中新世固結岩層之間地層不整合的界面，推估此未固結沉積物在北港地區附近最薄，大約 750 公尺 ~ 1000 公尺，由北港至雲林中部則增厚至 1400 公尺(Lin and others, 1992)。

六輕廠址之麥寮及海豐區則屬全新世之新三角洲沖積層(孫習之，民國 61 年)，其地表(厚約 40m ~ 60m)則為現代沖積層(一萬年以內)，其沖積物來源主要乃經由濁水溪及虎尾溪兩條河川夾帶中央山脈及其經由之麓山帶之沖蝕物沖積而成。因此其地層之組成主要以黏土、粉土、砂和礫石為主，其中也包括了海岸砂丘，現代潮相和沼澤相沖積物。

關於區域地質構造，根據文獻資料(徐鐵良，民國 78 年)，距六輕廠址 50 公里範圍內可能的活動斷層，包括彰化斷層、車籠埔斷層、大尖山斷層、梅山斷層、木屐寮斷層和觸口斷層等。但根據研判較活躍而對廠址威脅較大的為梅山斷層與觸口斷層。其中梅山斷層係 1906 年嘉義烈震(規模 7.1)所產生的地震斷層，梅山斷層走向由北 53 度至 75 度東或近似東西向，略與台灣島軸垂直，估計長約 50 公里，根據何春蓀(民國 63 年)指出梅山斷層東端適與觸口斷層於外湖附近相遇而成約 56 度內角之斜交；觸口斷層呈北東走向，為一逆斷層，全長約 65 公里。

### 2.2 地震分析

根據六輕廠址之地震危害度分析結果(中國地球物理學會，民國 81 年)，將廠址與其附近主要活動斷層分佈區域劃為同一震源區。依此震源區之位置與台灣自 1898 年至 1988 年之地震統計資料六輕廠址所在半徑 50 公里的震源區內，在過去約 90 年間曾發生規模大於 6.0 以上地震的次數達 21 次，其中有 10 次達地震規模 7.0 以上；在 1898 年至 1988 年間廠區所在震源區內曾發生約 14 次之災害地震(地震規模皆大於 5.0)。而根據過去地震記錄之分析結果嘉南地區規模大於或等於 7.0 地震的

再現週期約為 50 年。因此嘉南地區近期發生規模大於 7.0 之地震高可能率幾乎可以確定。

根據台西工址地震危害度分析和設計反應譜之分析評估，地震設計及分析乃採取最大地震規模  $M$  為 7.3，而最大地表加速度為  $0.21g$  進行分析；由微地動量測和理論計算結果顯示六輕廠址土壤對地震波反應的顯著頻率約在  $1.0\text{Hz}$  附近，根據年超越機率為  $2 \times 10^{-3}$  的均佈反應譜(阻尼比為 0.05)，經調整後，六輕廠址之建議設計反應譜數值如下：

$$S_a = 32.3772T^{0.9917} \quad 0.03 \leq T < 0.10$$

$$S_a = 3.30 \quad 0.10 \leq T < 0.31$$

$$S_a = 1.0395T^{0.9864} \quad 0.31 \leq T < 2.10$$

$$S_a = 2.1614T^{-1.973} \quad 2.10 \leq T$$

上式中  $S_a$  的單位為  $g$ ； $T$  之單位為秒。

### 2.3 區域水文地質概況

濁水溪主流發源於合歡山，在流經二水附近之鼻仔隘水後，河床坡度突然變緩，沉積物於是快速堆積，造成河床淤昇，洪水時期並常導致改道和分流，於是形成台灣地區面積最大的沖積扇。河道沉積物以礫石和粗中砂為主，定年分析結果顯示地表 200 公尺範圍之沉積年代約十萬年，顯示在此時段內，濁水溪可能發生千次以上之改道，使得粗質之河道沉積物得以層狀而廣佈於扇狀區域中，構成全區之主要儲水層(Aquifer)。

沿岸或海岸線以下，沉積物之質地較細，以泥和細砂為主。晚第四紀古海岸線位置因全球氣候變遷而常有顯著改變，當海水面升高而海岸線向陸側推進，所沉積之海相層被覆於先期沉積完成之陸相層之上。海岸線是河道沉積作用之大概界線，因此海岸線以下即少有粗質地之河道沉積

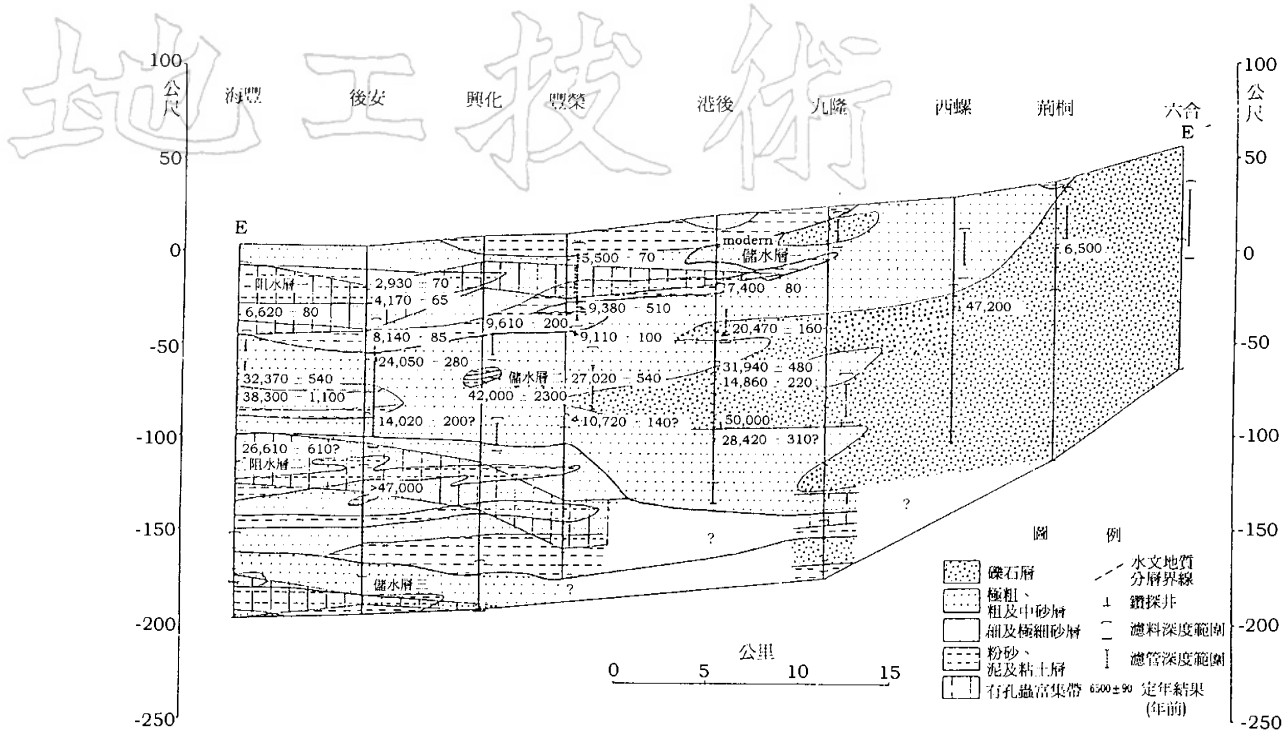
物。由於海進和海退交替發生，乃形成犬牙交錯之細質地阻水層和粗質地儲水層系統；儲水層厚度由陸側向海遞減，最終尖滅和封閉於巨厚阻水層之中；而阻水層厚度由海向陸側遞減，終告消失，各儲水層乃遂合而為一(江崇榮等，民國 85 年)。

礫石層、粗砂層滲透係數(Permeability) 較高，一般介於  $10^{-1} \sim 10^{-3}$  公分/秒之間，為主要儲水層(Aquifer)；粉砂、泥及黏土之水力滲透係數最低，界於  $10^{-5} \sim 10^{-7}$  公分/秒之間，為主要之阻水層(Aquitard)；細砂和中細砂滲透係數介於上述兩者之間，約  $10^{-2} \sim 10^{-4}$  公分/秒，因常夾泥層，故垂直方向水力滲透係數更低，估計約  $10^{-4} \sim 10^{-5}$  公分/秒。

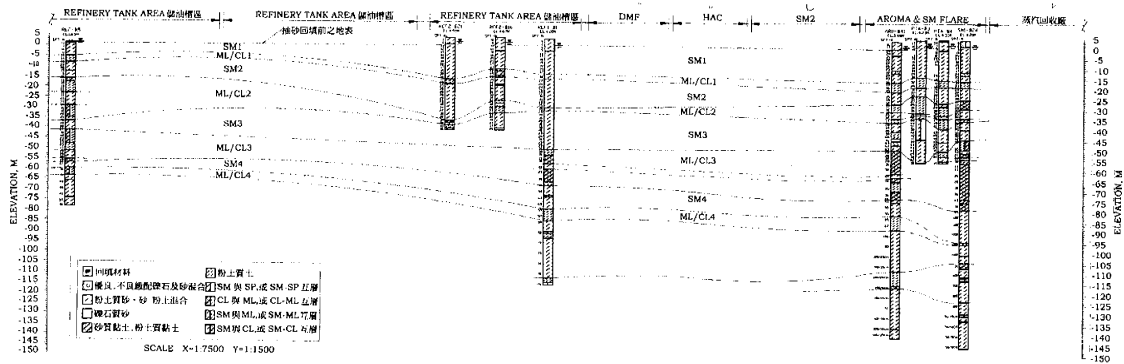
依沉積物顆粒之大小及其水力滲透係數之劃分，濁水溪下游在地表下 220 公尺範圍內之水文地質約可劃分為三個主要儲水層二個主要阻水層，由上而下分別為儲水層一(60 ~ 80 公尺)，阻水層一(80 ~ 100 公尺)、儲水層二(100 ~ 130 公尺)；阻水層二(130 ~ 170 公尺)及儲水層三(170 ~ 220 公尺)。儲水層一分佈範圍及厚度均較小，向下游尖滅而間夾於阻水層一之中；儲水層二為最主要水層，又可分為二小層，且為區域性受壓水層，厚度及範圍最大，各儲水層的深度及厚度各地並不一致；同一層愈往海側，深度愈深，厚度愈薄，沉積物顆粒愈細。區域水文地層剖面如圖一所示(江崇榮等，民國 85 年)。

### 2.4 六輕基地之土層及水文概況

六輕廠址之地層主要由濁水溪沉積物所形成，其成份主要為未固結之粉土質砂、粉土與黏土等以互層形式沉積而成，綜合至目前為止，約 500 孔之鑽探與約 100 孔之 CPT 資料，全廠址在調查深度(約 150 公尺)



圖一 區域水文地層剖面圖 (摘自江崇榮等, 民國 85 年)



圖二 麥寮基地土層分佈圖

內之土層可概分為 8 層(圖二), 其土壤特性如表一及圖三所示。由工程特性研判, 表面 40m ~ 60m 內之土壤較鬆散, 含砂量較高, 應為現代沖積層, 此深度以下則為全新世之地層; 地表約 3.5m 則為新近水力抽砂回填層。

由地下水觀測結果, 地下水位約在現地地表下 1m ~ 3m, 由於抽砂回填之影響, 使

地下水位略為上升, 其上升高度約可達回填厚度之 1/3。在地表下 50m 以上之水壓分佈約呈靜態水壓分佈; 50m 以下則由於深井抽水的關係, 水壓開始隨深度之增加而洩降, 100m 以下之水壓洩降至低於靜止水壓約 15m(圖四), 此現象與基地附近與區域性觀測資料頗為一致。

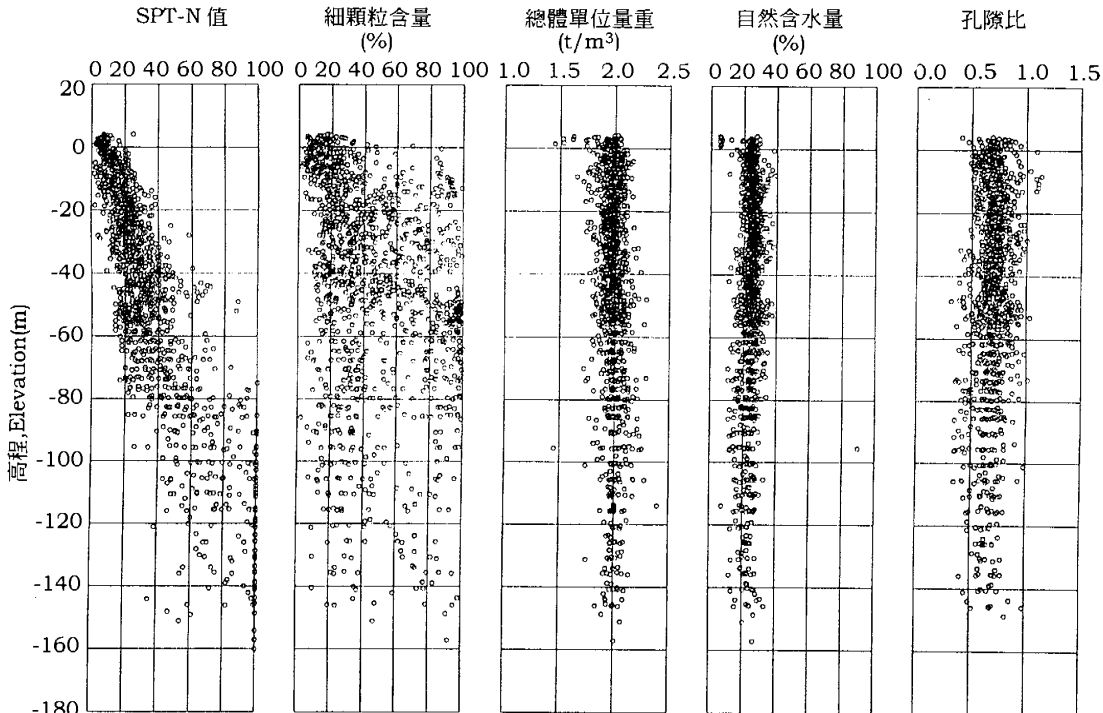
比照 CPT 孔與緊鄰之 SPT 孔之  $q_c$  值

表一 六輕廠址麥寮區代表性土層之工程性質(地質改良前)

層次 / 編號	土層描述	標準貫入 N值	qc (kg/cm <sup>2</sup> )	平均顆粒含量 (%)	總單位量重 (t/m <sup>3</sup> )	含水量 (%)	液性指數	塑性指數	孔隙比	c (t/m)	φ (deg)	c' (t/m)	φ' (deg)	Su (t/m)	Cc	Cr	Cv (cm/sec)	k (cm/sec)
1 SM1	灰色、粉土質細砂 (a)細砂質粉土 (b)粉砂質粉土 (c)粉砂質粉土 (d)極細砂質粉土	2-15(6) 1-15(5) 2-16(8) 6-35(16)	12-47(25)	20	1.76-2.0 5 (1.92)	14.6-37.4 4 (25.2)	-	-	0.6-0.95 (0.76)	-	-	0-4.5 (0.6)	29-40 (36)	-	-	-	-	5.7×10 <sup>-5</sup> - 1.5×10 <sup>-2</sup> (2.5×10 <sup>-3</sup> )
2 ML / CL1	灰色、砂質粉土、 含少量黏土、偶夾 粉土質細砂	2-36 (14)	8-112 (45)	-	1.82-2.1 8 (1.96)	16.7-41.9 9 (29)	20.1-41.9 9 (31)	2.9-15.0 (9)	0.58-1.07 (0.80)	0-15.8 (5.3)	16-35 (24)	0-9.9 (1.1)	26-38 (33)	1-15.3 (6.4)	0.07-0.33 (0.18)	0.01-0.06 (0.02)	4.6×10 <sup>-3</sup> - 4.2×10 <sup>-2</sup> (2.29×10 <sup>-2</sup> )	-
3 SM2	灰色、粉土質細 砂、偶夾砂質粉 土	8-58 (23)	18-166 (65)	29	1.83-2.2 2 (1.94)	16.9-37.9 9 (26)	-	-	0.64-0.85 (0.76)	-	-	0-1.8 (0.4)	32-39 (36)	-	-	-	-	-
4 ML / CL2	灰色、粉土質黏土 質粉土、偶夾粉 土質細砂	4-47 (20)	-	-	1.77-2.0 8 (1.93)	19.2-48.9 9 (30)	24.2-38.9 5 (31)	4.7-14.8 (9)	0.61-1.34 (0.89)	0-15.4 (4.9)	13-32 (22)	0-7.0 (1.3)	24-40 (33)	1.6-19.9 (5.5)	0.1-0.42 (0.24)	0.01-0.08 (0.03)	3.0×10 <sup>-3</sup> - 8.3×10 <sup>-2</sup> (2.4×10 <sup>-2</sup> )	-
5 SM3	灰色、粉土質細 砂、偶夾砂質粉 土與粉土質黏土	7-71 (32)	-	25	1.76-2.0 5 (1.91)	17.8-45.3 3 (27)	-	-	0.43-1.06 (0.72)	-	-	0-3.4 (0.8)	33-39 (36)	-	-	-	-	-
6 ML / CL3	灰色、粉土質黏土 質粉土、偶夾粉 土質細砂	11-73 (28)	-	-	1.67-2.1 7 (1.96)	16.8-37.7 7 (28)	22.6-48.7 7 (34)	3.5-22.9 (12)	0.51-1.64 (0.80)	0-13.4 (3.5)	15-29 (23)	0-3.7 (0.3)	25-35 (31)	1-26 (9.6)	0.05-0.4 (0.21)	0.01-0.2 (0.03)	3.5×10 <sup>-3</sup> - 8.3×10 <sup>-2</sup> (2.1×10 <sup>-2</sup> )	-
7 SM4	灰色、粉土質細 砂、偶夾粉土質黏 土	13-85 (43)	-	34	1.93-2.2 7 (2.04)	12.7-26.7 7 (20.0)	-	-	0.46-0.75 (0.65)	-	-	0	34-37 (35)	-	-	-	-	-
8 ML / CL4	灰色、粉土質黏土 與黏土質粉土	12-100 (38)	-	-	1.80-2.1 1 (1.97)	20.2-48.1 1 (26)	22.9-41.7 7 (33)	13.0-18.6 6 (15)	0.55-1.32 (0.79)	1.2	23.4	0	34	4-24.9 (10.8)	0.13-0.3 (0.2)	0.02-0.05 (0.03)	5.5×10 <sup>-3</sup> - 8.7×10 <sup>-2</sup> (2.6×10 <sup>-2</sup> )	-

註：1.( )內表平均值。

- 2. c , c' = 總凝聚力與有效凝聚力
- φ , φ' = 總內摩擦角與有效內摩擦角
- Su = 不排水剪強度
- qc = 錐頭阻抗
- Cc = 壓縮指數
- Cr = 再壓縮指數
- Cv = 壓密係數
- k = 滲透係數



圖三 麥寮基地土層一般物理性質(土質改良前)

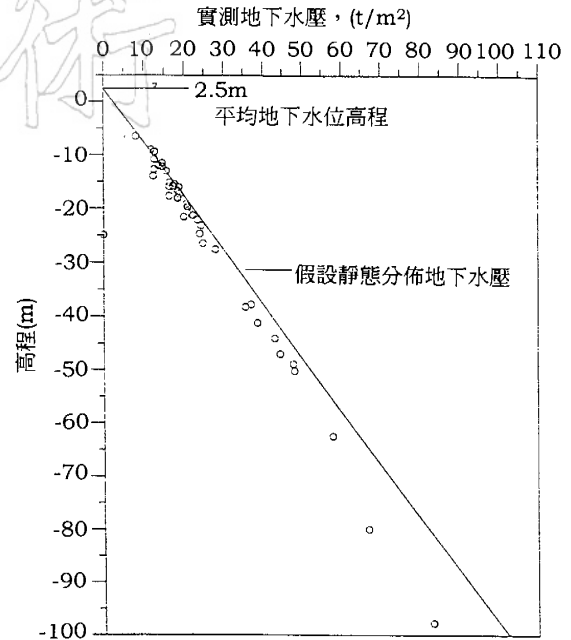
與 N 值(圖五), 可見其比值( $q_c/N$ )與土壤分類之關係分佈零亂, 與一般之認知似有差距, 就本基地而言, 其比值大部分落于 2 與 3.5 之間, 但在此範圍外之數據, 其數量亦甚為可觀, 此關係式之建立, 尚須更多之數據。

由液化潛能之分析, 本基地大部份地區自地表至 15m 深度之飽和砂質土層, 在設計地震下其液化潛勢甚高(圖六), 是以土質改良除可根本解決其液化問題外, 也可藉土層密度之增加, 而增強其承载力與減小基礎沉陷量, 以利淺基礎之設計。

### 三、海埔新生地基本大地工程問題

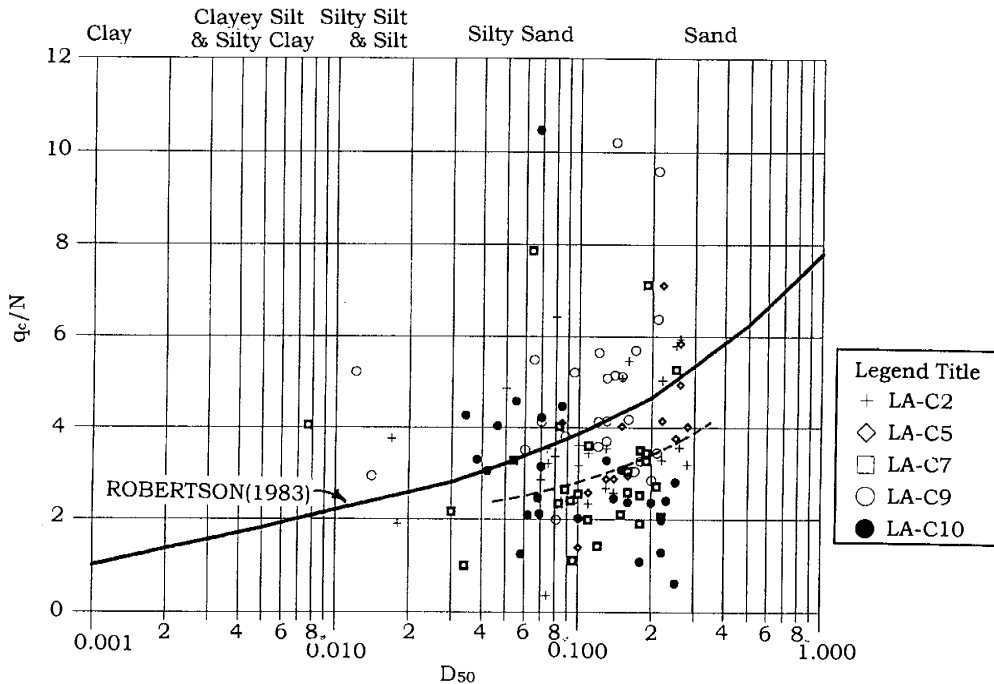
#### 3.1 填海造地

海埔新生地的回填高程及防波堤高度



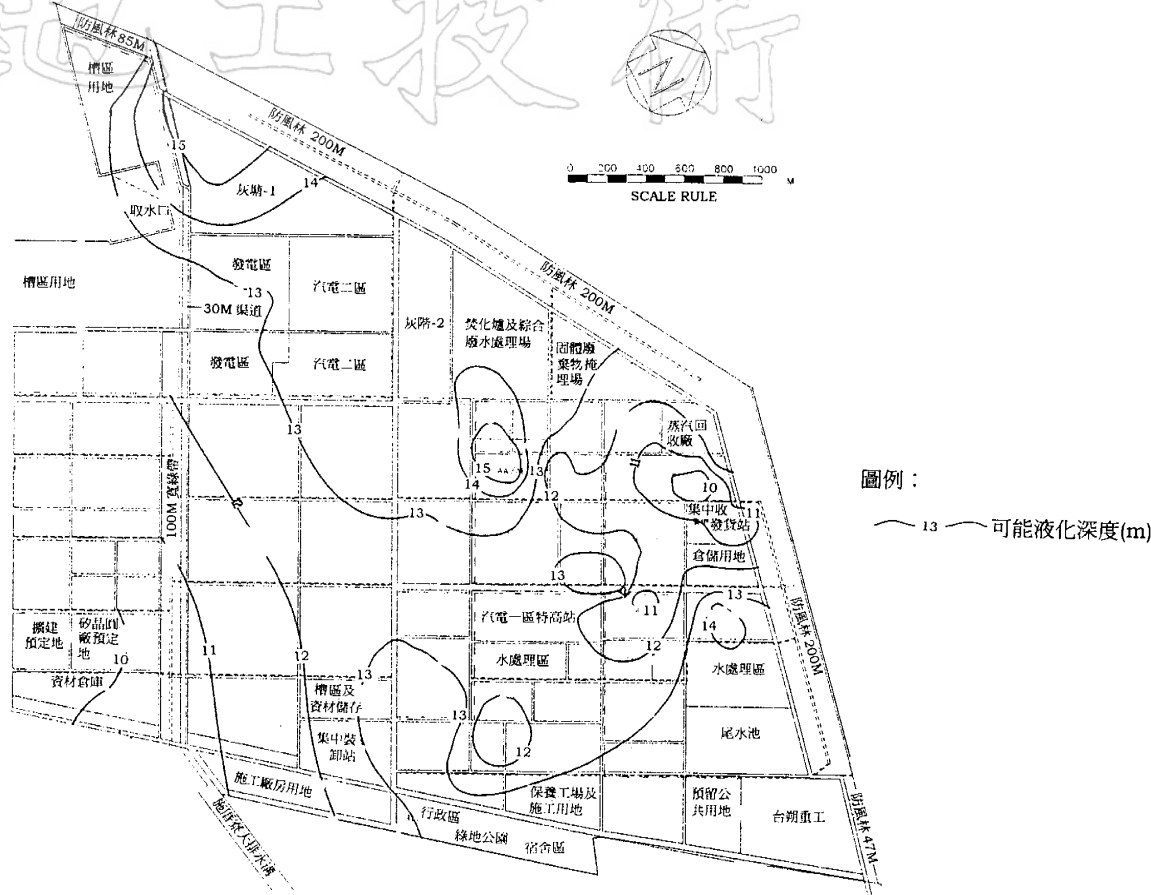
圖四 麥寮基地地下水壓分佈圖

主要取決於當地的海況與海象：如潮汐與颱風引致波浪大小；此外由於地下俱深厚



圖五  $q_c/N$  與顆粒分佈關係圖

# 地工技術



圖六 液化深度分佈圖

之土層，由回填土所引致的沉陷量也應列入計算；在台灣西部由於不能有效控制抽取深層地下水引致的地盤沉陷，而必須在限期內完成建廠的情況下，必須根據現有資料，估計其沉陷量，以便擬定應增加之回填高度。六輕基地由於考慮潮汐(HHWL +1.5m)及抽砂回填預估之沉陷量，約 40cm ~ 60 cm，及由於深層抽水引致每年約 6cm ~ 10 cm 之地盤沉陷，因此廠區回填土之高程由原定之+4m 左右增為+4.8m。在決定回填高程之同時也須考慮回填土之料源問題，包括距離、材料之顆粒分佈，及合適材料數量之估計，據此以便決定回填之方

表二 亞洲地區主要水力回填造地工程

	新加坡 樟宜 機場	大陸 天津 東碼頭	日本 關西國際機 場	台灣 彰濱 工業區	台灣 台塑六輕 工業區
造地 面積	700ha	60ha	511ha	3643ha	2167ha
料 源	海床	海床	陸上砂石 材、海床	水道、海 床	河川出海口、海 床(部份陸上砂 石材)
填土 厚度	6.5m	35~65m	~ 30m	~ 4m	~ 4m
土壤 改良 工法	DC 預載	預壓	砂樁、DC、 振動揚實、置 換	置換、砂 樁、DC	DC、預載、振 動揚實、石 樁、砂樁
工期	1976 ~ 79	1982 ~ 87	1987 ~ 91	1979 ~ 81 1991 ~	1994 ~
預估 沉陷	2m	>1m	11.5m/30yr, 其中 10m 開 港已發生	0.45m	0.5 ~ 1m

(上表大部份摘自中興報告，六輕部份主要根據富國資料)

式。亞洲地區除了香港赤鱗角機場及部份日本關西國際機場利用陸地石材回填外，主要之大規模回填工程(表二)皆以水力抽取海床砂料為主。六輕基地初期約五百公頃之抽砂回填地乃利用二艘吸管式抽砂挖泥船(PSD)，約在 8 ~ 9 個月內完成了平均深度約 3.5 公尺之回填土方。

## 3.2 土質改良

### 3.2.1 改良工法之選擇

由回填前及回填後之工址調查分析結果顯示在初期廠區地表至地下 9m 或 13m 深度內之飽和砂質土層相當鬆散，除承載力有限外，在廠區之設計地震下( $M=7.3$ ， $a_{max}=0.21g$ )，亦有液化之可能。而利用 Seed (1985) 建議之分析法，考慮不同細料(低於 200 號篩)之含量，可訂定出為防止廠區土壤液化所需土質改良之要求。

土質改良由於砂質或黏土質土層之不同與改良目的之不同，如增加密度，強度或減少壓縮量而有極多改良之方式可供選擇。海埔新生地淺層內主要為砂質土壤，故其改良目的主要為增加其密度以增其抗剪強度，防止於地震時產生液化，但六輕基地廣大，土層分佈變化難免，故在造地過程中，可能使用到的土層改良方式如表三各種工法都應加以考慮：

表三 不同土質改良工法之適用情況

土質改良工法	適用情況
1. 炸震壓密	深厚砂土層；
2. 置換	淺而局部之軟弱土層；
3. 擠壓砂樁	增加密度，20m 土，土層中含軟弱土層互層；
4. 動力夯實壓密	增加密度，<15m 深度內主要為砂質土層，含<#200 顆粒<20%效果佳；
5. 振動揚實	增加密度，20m ~ 30m，主要為砂或沉泥質砂；
6. 深層振動夯實	增加密度，20m ~ 30m，主要為砂或沉泥質砂；

7. 石柱	增加密度及排水解壓，20m ~ 30m，主要為砂或沉泥質砂；
8. 堆土或真空預壓	減少沉陷量，含軟弱高壓縮性土壤；
9. 預載工法	減少營運沉陷量，含軟弱高壓縮性土壤；
10. 降水、抽水	減少沉陷量，深層含軟弱高壓縮性土壤。

其他尚有攪拌：化學處理等方式，視土層、基礎施工等狀況而定。本文僅就適於六輕基地為降低地震時液化潛能之可能方式加以討論，並對首度大規模引用之動力夯實壓密工法(Dynamic Compaction Method，簡稱 DC 工法)，於台灣海埔新生地之初步經驗與結果加以報導，以收拋磚引玉之效。

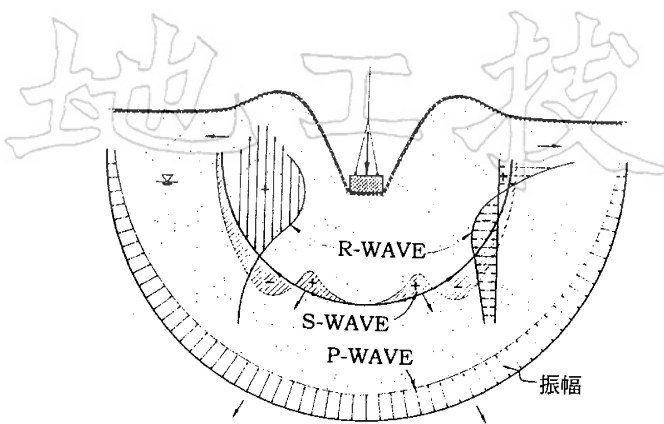
於引用 DC 工法之前下列工法皆曾加以比較，最終選用了 DC 工法，除了基於經濟之考量外，引進全世界已普遍使用之工法以提昇國內之土質改良技術也為主要考量因素之一，而其餘之工法各俱優點與適用性(如表四)，六輕基地亦擬隨時使用或引進：

表四 各土質改良工法適用性、費用與工期之比較

工法	適用地區	參考費用(萬/公頃)	工時
動力夯實壓密	一般廠區	300 ~ 450	短
擠壓砂樁	一般廠區	400 ~ 500	短-中
振動揚實	港灣、堤防區 鄰近已建結構物	500 ~ 700	中
深層振動夯實	港灣、堤防區 鄰近已建結構物	600 ~ 1000	中
石柱	儲槽區，高聳建物區	700 ~ 1200	中
預壓	儲槽區	-	-
預載	儲槽區	-	-

表四中之比較極為粗淺，因使用之範圍、深度、土層分佈而各俱擅長。一般而言，DC 在六輕基地可使用之範圍較廣，且由於業主願出資投資於機械之採購，益以自備機械廠可鑄造各式重量之落錘等設





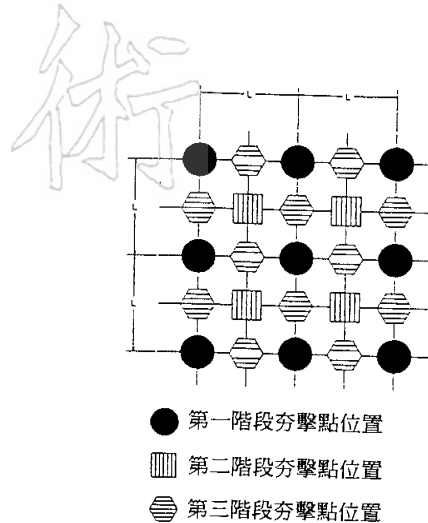
圖七 動力壓密震波分佈示意圖

備，故於短期內即擁有二十部以上 DC 吊車，使 DC 進度快速，以下即為初步累積之經驗。

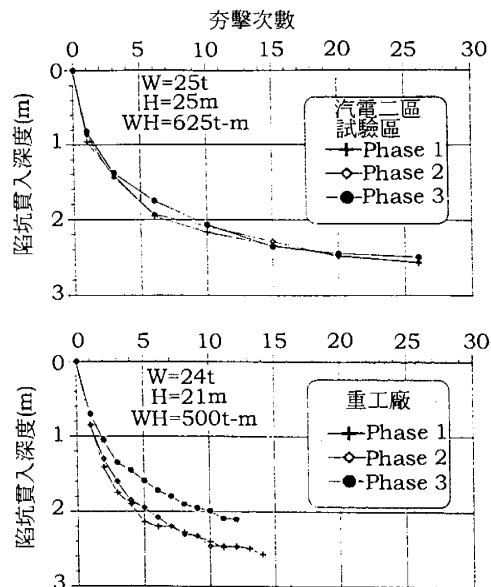
### 3.2.2 動力壓密成果評估

動力壓密之原理為轉換重錘之位能為動能，以表面波(R)、剪力波(S)及壓力波(P)的形式自衝擊點以半圓球型方式向地面下傳播(圖七)，其中 R-波約佔 67%能量，壓力波及剪力波則分別約佔 7%及 26%之能量。一般而言，土層受到壓力波之作用而壓實，顆粒受剪力波之作用而重組、變形及產生位移使土層更形緊密；R-波之作用則引起地表之振動，對壓密正面之效果則不明顯。動力壓密之原理可用實驗室中之夯實試驗(Proctor Test)來比擬，唯一之不同在於 Proctor 之邊界條件為有限且為剛性。土體之夯實密度與單位體積所接受之能量有關，以及對較均質砂土層而言過度之夯實能量也可能引起反效果等，對動力壓密與夯實試驗兩者而言其理則一。

一般在動力壓密前，根據土層之狀況及設計上之要求須預先設定改良之目標值，一般以不同深度所要求之 SPT - N 值及 CPT - qc 值來表示。對一個尚無 DC 先例的基地而言，試驗區之試夯非常重要，包含不同的夯擊模式、夯擊能量與夯擊次



圖八 動力壓密夯擊點配置圖



圖九 夯擊次數與陷坑貫入深度

數。一般乃經由夯擊前、夯擊中及夯實後的測量驗證數據判定試夯結果，並藉此選擇經濟而安全的夯實參數。

由六輕基地三組試驗區的試夯結果及分析約十個廠區之 DC 觀測數據後，採用如圖八之夯擊點配置，同時第一、二、三階段各夯擊點之單擊能量約為 500 至 600 t-m。

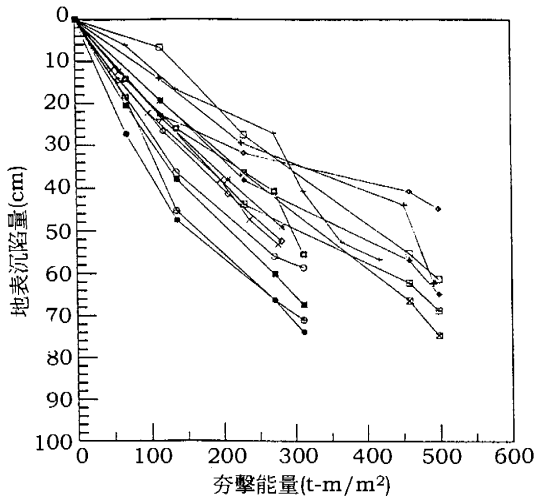
根據試夯結果可歸納出下列的幾個現象：

1. 由夯擊次數與引起之陷坑深度測量結果(圖九), 可見夯擊數在 15 至 20 次即可達平衡狀態。

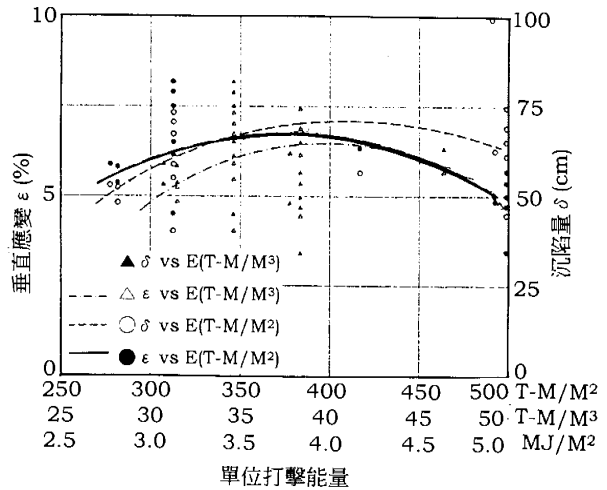
2. 夯擊能量與沉陷量之關係如圖十及十一所示, 由圖可見使用之單位面積夯擊

能量在 300 ~ 400 t-m/m<sup>2</sup>(或單位體積夯擊能量 30 ~ 40 t-m/m<sup>3</sup>)即可達最大之沉陷量; 平均土層密度可增加 5%至 7.5%;

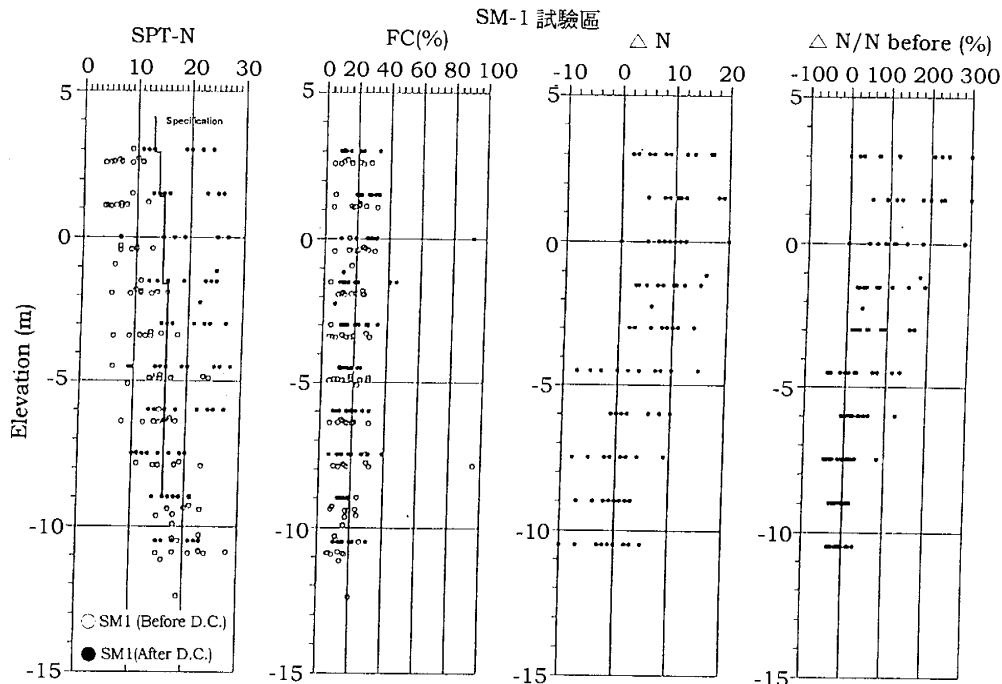
3. 代表性之土壤改良結果如圖十二、十三及十四所示, 由此等數據可知:



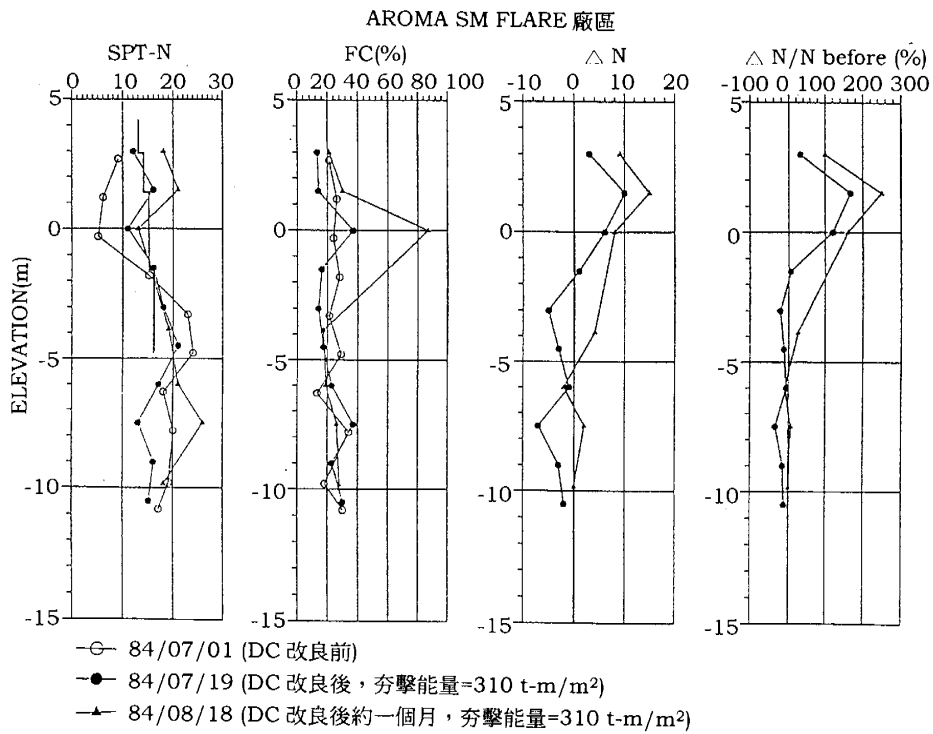
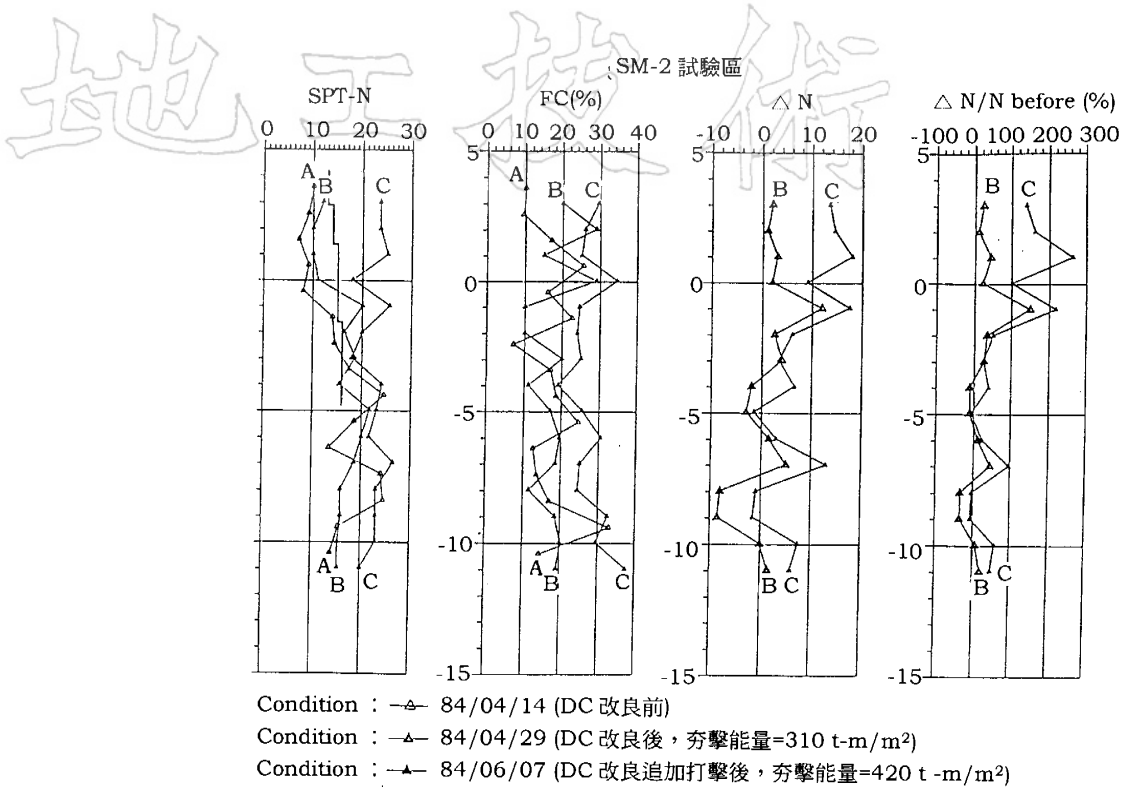
圖十 夯擊能量與地表沉陷



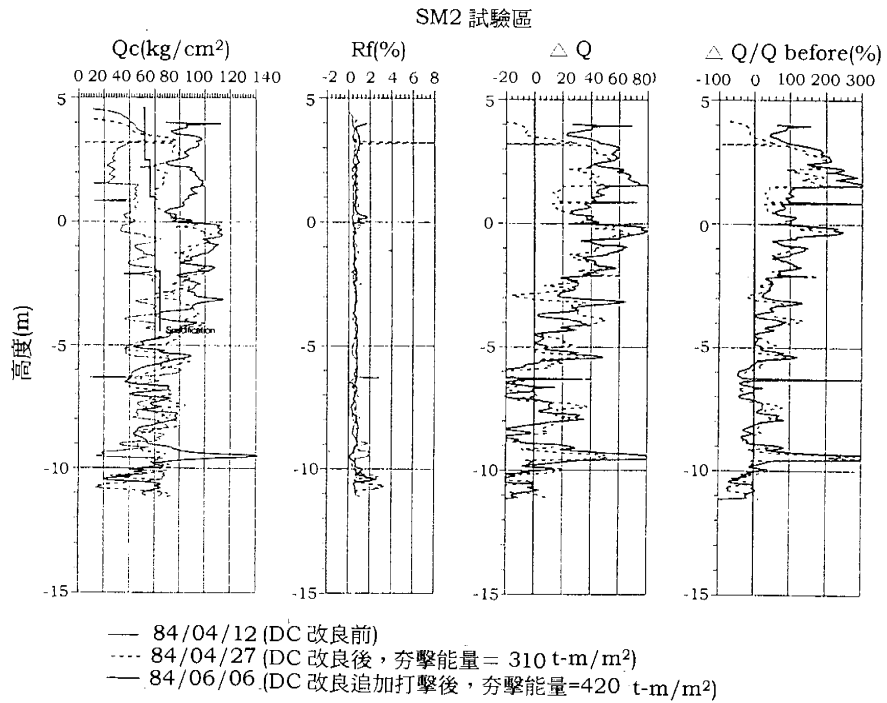
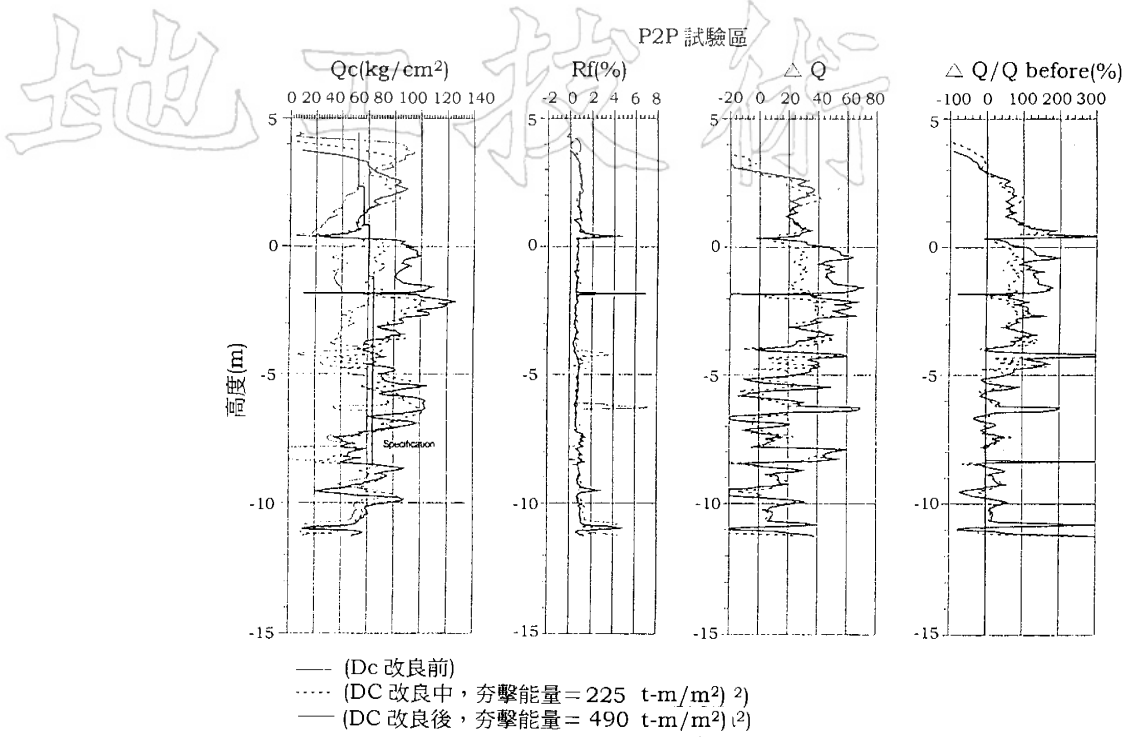
圖十一 單位夯擊能量與沉陷之應變



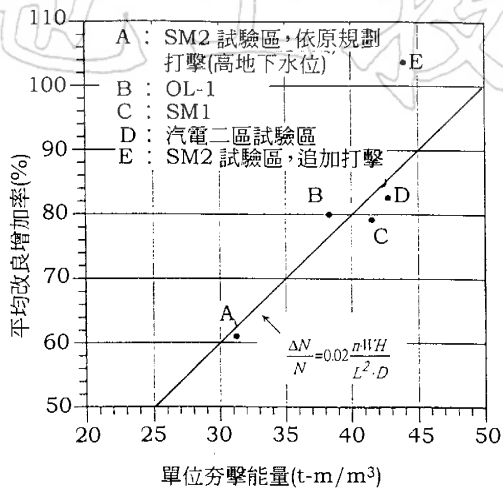
圖十二 動力壓密之改良率



圖十三 動力壓密改良之時間效應(SPT)



圖十四 動力壓密改良之時間效應(CPT)



圖十五 平均改良率與單位夯擊能量關係圖

(1)砂性土層增加可達 80%以上(圖十五)。

(2)砂土層夾黏土或沉泥質土層，不但會降低其改良效果，且此等土層可能因擾動而降低其強度。

(3)地下水位在地表下 1.5m 至 2m 以上之地區，改良效果不佳，可以導水溝排水，陷坑抽水，增加地表不飽合土層厚度及加長夯擊階段之間隔時間等方式加以控制。

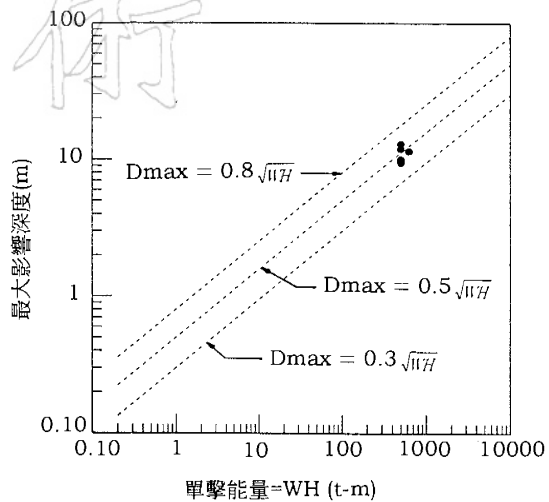
(4)土層強度因超額孔隙水壓之消散而增強，是以成果檢驗不宜于 DC 夯擊後立即進行，本基地最佳間隔時機約為 14 天。

(5)於第一、二階段改良後，若間隔 10 ~ 14 天後再追加打擊，效果甚佳。

(6)一般依第一、二、三階段及整平夯擊後平均改良率約為 80%，靜置後再追加打擊則可達 >100%。

4. 單擊使用之能量與改良深度約可以  $D=0.5\sqrt{WH}$  估算(圖十六)，其中 W 為錘重(單位:t)，H 為落距(單位:m)。

5. 土層細料(<#200)含量對改良成果的影響甚鉅，不同深度之細料含量對液化的影響甚鉅，不同深度之細料含量對液化的



圖十六 夯擊能量與影響深度關係圖 (MAYNE,1984)

潛能之影響可依 Seed(1985)方法概估如圖十七所示，改良後之液化評估結果同時示於圖中，結果顯示液化大體上皆可能藉由 DC 加以防止。

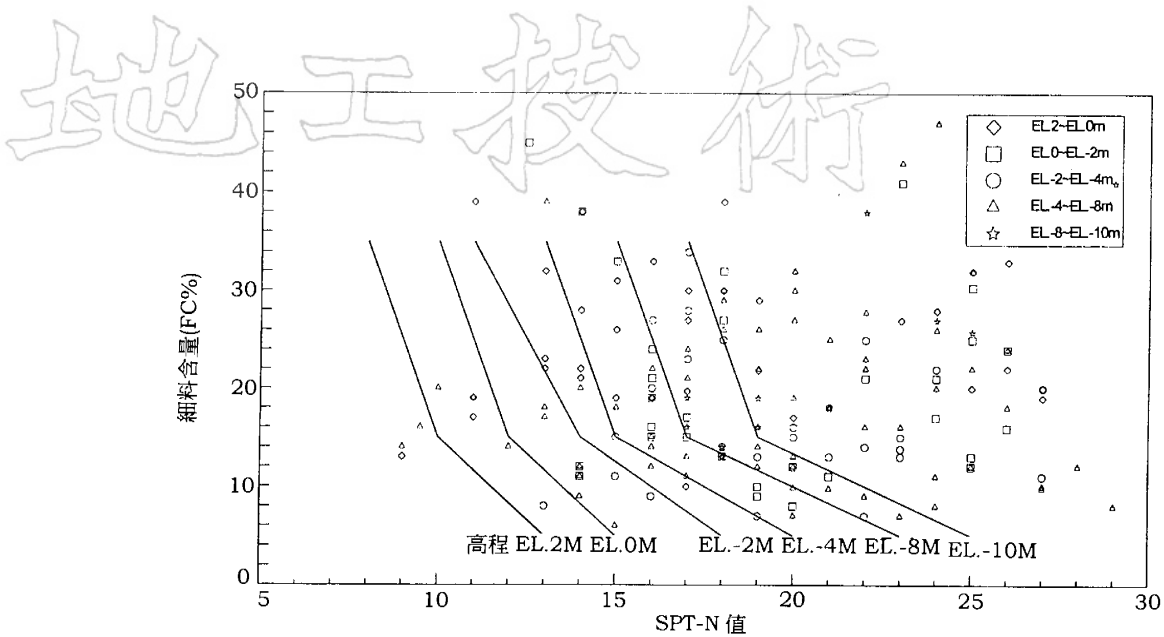
6. 由夯實引起之震動，其影響範圍如圖十八所示，其影響半徑約為 30m ~ 50m；質點之震動量(mm/sec)與夯實擊量  $(\frac{\sqrt{E(t-m)}}{D(m)})$  如圖十九所示；但因主要由 R-表面波所引致，以淺溝方式即可消滅其震動量。

### 3.2.3 動力壓密之規劃

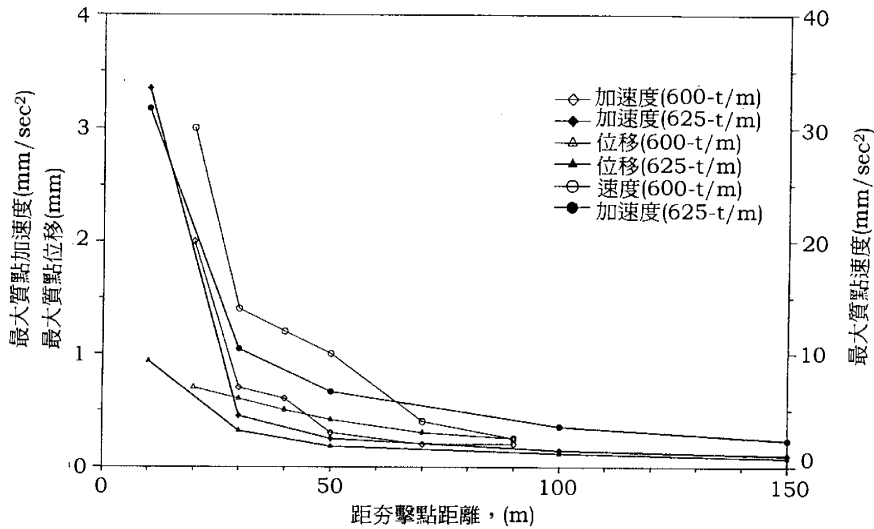
由上述觀測到的現象與數據，對於本基地動力夯擊改良之規劃、施工與檢驗步驟可依下列述程序執行，應可達到預期之目標：

1. 詳盡而正確之工址調查，包括 SPT、CPT 試驗，及土壤顆粒分析等結果以確定土層及地下水位之分佈及土層之工程特性；

2. 由液化分析及設計所要求之承載力及沉陷量分析結果，決定土質改良之需求



圖十七 細粒含量對液化潛能之影響關係分佈圖



圖十八 動力夯擊震動影響範圍

及深度；

3. 選擇合適而經濟之土質改良方式，DC 工法最適用於下述條件之基地。

(1) 土層為砂質土層，細料含量 20% 以下者最佳；

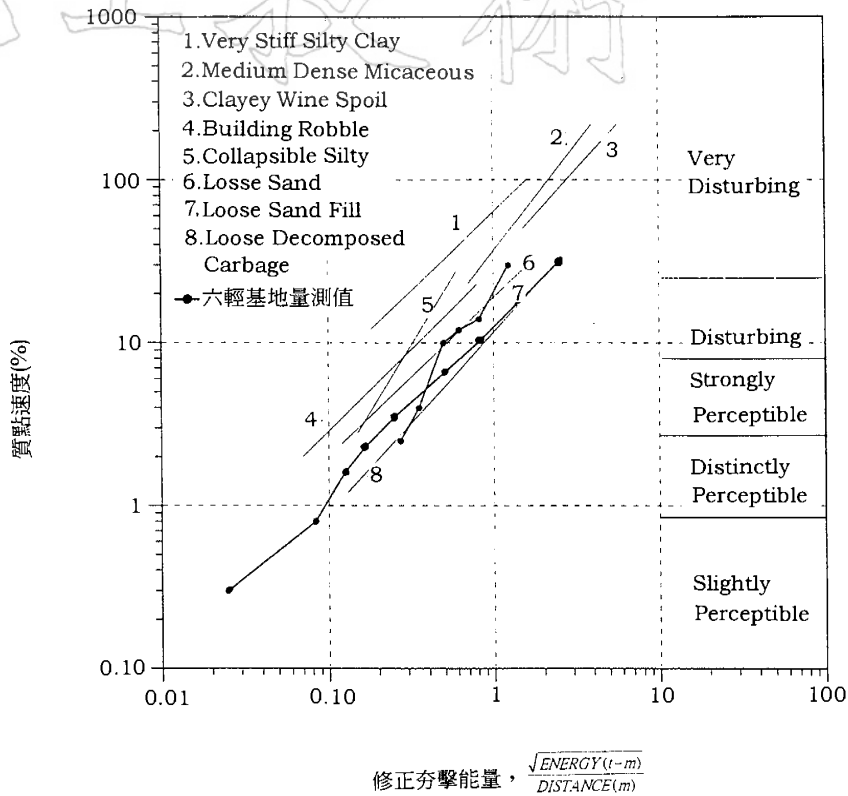
(2) 未夾有 1m 以上厚度之黏土或沉泥層；

(3) 地下水位在 2m 以下或可加厚表面砂層或地下水位易於降低者；

(4) 基地面積夠大(約 2 公頃以上)且附近(30m ~ 50m 半徑以內)無建物者；

4. 夯擊能量之選擇可使用  $D=0.5\sqrt{WH}$ ，

# 地工技術



圖十九 動力夯擊能量與質點之振動關係圖(FHWA,1980)

平均要求改良率( $\frac{\Delta N}{N}$ )

可使用下式粗估(圖十五)：

$$\frac{\Delta N}{N} = 0.02 \frac{n \cdot W \cdot H}{L^2 \cdot D}$$

式中 n 為夯擊次數，W 為落錘重 (ton)，H 為落距(m)，L 為每階段夯擊點間距(m)(如圖八)，D 為改良深度(m)；

W 可使用 10T 至 25T，則目前台灣之吊車較易尋找，改良深度(D)一般連續砂土層可達 13m ~ 15m 左右；

5. 選擇夯擊模式(夯擊點間距(L)與陣形)及打擊階段與次數：總能量以 300 ~ 400 t·m / m<sup>2</sup>，每階段每個夯擊點之夯擊以 15 ~ 20 次最佳；

6. 進行試驗區不同模式之夯擊與成果

檢驗(包括夯擊前，進行中及夯擊後，SPT、CPT 之檢驗與對比)以選擇該區之最佳夯擊方式與能量。砂土層滲透性高於 10<sup>-4</sup> cm/sec 者，檢驗可於 DC 後一星期進行，低於 10<sup>-4</sup> cm/sec 者可增至 10 ~ 14 天或更長之靜置期；必要時於靜置後以追加打擊方式增加夯實度。

( 本篇未完，續 59 期..... )

## 參考文獻

江崇榮，賴典章，黃智昭，賴慈華，陳利貞(民國 85 年)，「濁水溪沖積扇之水文地質與地下水系統概念模型」，濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集。

余明山, 楊清源, 謝百鍾, 鍾毓東(民國 84 年) "抽砂回填新生地之土壤特性—永久案例" 地工技術雜誌, 第 51 期, 第 51 ~ 64 頁。

孫習之(民國 61 年), "台灣省北港至濁水溪平原區域航照地質之研究", 台灣石油地質, 第十號。

徐鐵良(民國 78 年), "地質與工程"。

高聰忠, 謝樹成(1996), "六輕填海造地工程", 八十五年度港灣大地工程研討會。

陳斗生(民國 74 年), "電子式圓錐貫入儀之工程應用", 地工技術雜誌, 第 13 期, 第 62-78 頁。

張吉佐, 方仲欣(民國 84 年), "水送填土造地之探討", 地工技術雜誌, 第 51 期, 第 5-20 頁。

富國技術工程股份有限公司(民國 84 年), "台塑關係企業麥寮六輕石化工業區建廠大地工程整體綜合顧問工作先期整合評估作業報告書"。

葉永田, 羅俊雄(民國 81 年), "台西工址地震危害度分析和設計反應譜研估報告", 中國地球物理學會。

鄭世楠, 葉永田(民國 78 年), "西元 1604 年至 1988 年台灣地區地震目錄", 中央研究院地球科學研究所。

潘少昫, 黃子明(民國 84 年), "台朔麥寮重機械廠動力壓密改良", 地工技術雜誌, 第 51 期, 第 35-50 頁。

簡連貴(民國 84 年), "水力抽砂回填技術在造地工程之應用" 地工技術雜誌, 第 51 期, 第 21-34 頁。

鍾毓東, 葉嘉鎮, 吳偉康, 余明山(民國 84 年) "深層夯實改良應用於新生地之案例", 地工技術雜誌, 第 51 期, 第 65-78 頁。

FHWA(1986), *Dynamic Compaction for Highway Construction, Volume 1 : Design & Construction Guidelines, Federal Highway Administration, Report FHWA/RD-86/133.*

FHWA (1995), *Dynamic Compaction, Geotechnical Engineering Circular No.1, Publication No.7, FHWA-SA-95-037.*

HSU, MING-TUNG (1975), "Report on the Regional Seismicity of Taiwan", *Inst. Earth Sci., Academia Sinica.*

LIN, L. H., LIN, H. R., KE, A. H., AND CHOU, T. H.(1992), "Petroleum Potential of the Pre-Miocene Formations in the Chianan Plain, Taiwan", *Petrol. Geol. Taiwan, No.27.*

MAYNE, JONES, JR., AND DUMAS (1984), "Ground Response to Dynamic Compaction", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.110, No.6, pp.757-774.*

ROBERTSON, P.K.(1990a), "Soil Classification Using the Cone Penetration Test", *Canadian Geotechnical Journal, Vol.27, No.1, pp.151-158.*

ROBERTSON, P.K., CAMPANELLA, R.G., AND WIGHTMAN, A.(1983), "SPT-CPT Correlations", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.109, No.11, pp.1449-1459.*

SISKIND, D.E. et al (1980), *Structure Response and Damage Produced by Ground Vibrations from Surface Mine Blasting, Bureau of Mines, Department of Investigation, RI8507.*

WISS, J. F.(1981), "Construction Vibration: State-of-the-Art", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.107, No.GT2.*

本文之討論意見將在後期雜誌中刊出, 請您將意見於三個月內寄交本刊雜誌編輯委員會。

85 年 8 月 12 日 收稿  
85 年 9 月 4 日 修改  
85 年 9 月 26 日 接受